

TRATAMENTO DE LIXIVIADO PROCEDENTE DA EXTRAÇÃO DE CHUMBO DE ESCÓRIA DE BATERIAS

Treatment of leachate coming from the extraction of lead slag batteries

Ângela Antunes¹; Rogério Marcos Dallago²; Luciana Dornelles Venquiaruto³; Rubia Mores⁴;
Nádia Ligianara D. Nyari⁴; Aline Matuella Moreira Ficanha⁴

¹ Mestranda do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Câmpus de Erechim. E-mail: nenaantunes@gmail.com

² Doutor em Química (UFRGS), professor da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Câmpus de Erechim.

³ Doutora em Educação em Ciências (UFRGS), professora da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Câmpus de Erechim.

⁴ Doutorando do Curso de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Câmpus de Erechim.

Data do recebimento: 22/07/2014 - Data do aceite: 29/08/2014

RESUMO: Durante o processo de extração de chumbo presente em escória de recicladoras de baterias é gerado um efluente líquido que, devido ao baixo pH e presença de elevadas concentrações de chumbo, ferro e fluoreto, inviabiliza seu descarte em corpos receptores. O emprego de reações seletivas permitiu uma remoção significativa de alguns destes compostos. Empregando íons Bi^{3+} , foi possível reduzir 66% da concentração de íons fluoreto presentes no efluente. Após a remoção do fluoreto, a adição de íons sulfeto, sulfato ou cloreto conduziu a formação de precipitados de chumbo, conduzindo a remoção deste poluente do efluente. Dos ânions testados, o íon sulfeto foi o que apresentou os melhores resultados de remoção de chumbo. Esta tendência foi vinculada a menor solubilidade do sulfeto de chumbo em relação aos demais sais de chumbo (PbCl_2 e PbSO_4). Ensaio empregando diferentes precursores de Fe^{3+} , principalmente sulfato e cloreto, demonstraram ser possível a remoção de Pb^{2+} sem a remoção prévia dos íons fluoreto. A alcalinização do meio a pHs entre 8 e 9, além de corrigir o pH proporcionou a remoção de ferro do efluente ($5,0 \text{ mg.L}^{-1}$) a níveis aceitáveis pela legislação vigente.

Palavras-chave: Chumbo. Fluoreto. EDTA. Precipitação e complexação.

ABSTRACT: During the process of extraction of lead present in slag recycling batteries a liquid waste is generated due to the low pH and the presence of high concentrations of lead, iron and fluoride prevents its disposal into receiving bodies. The use of selective reactions led to a significant removal of some of these compounds. Employing Bi^{3+} ions, it was possible to reduce 66% of the fluoride ions in the effluent. After removal of fluoride, the addition of sulfide ions, sulfate or chloride conducted to the formation of lead precipitates, and then the removal of this pollutant of the effluent. Of the anions tested, the sulfide ion showed the best results for lead removal. This trend has been linked to lower solubility of lead sulfide compared to other salts of lead (PbCl_2 and PbSO_4). Tests using different precursors Fe^{3+} , especially sulfate and chloride proved possible to remove Pb^{2+} without prior removal of fluoride ions. Alkalinization of the medium to pH between 8 and 9, in addition to correcting the pH, provided the iron removal from the effluent (5.0 mg l⁻¹) to levels acceptable by law.

Keywords: Lead. Fluoride. EDTA. Precipitation and Complexation.

Introdução

O chumbo é um dos contaminantes ambientais mais comuns devido às inúmeras atividades envolvidas direta e indiretamente com este metal, como a fundição de baterias automotivas exauridas, que favorecem sua dispersão no meio ambiente.

A reciclagem de baterias é um processo de grande interesse para a indústria, já que aproximadamente 70% de uma bateria automotiva é chumbo. Além disso, o processo pirometalúrgico consome 25% menos energia que o processo de obtenção de chumbo metálico (Pb^0) a partir de seus minérios. No entanto, o mesmo é considerado ambientalmente inadequado, pois durante o processamento são geradas quantidades significativas de um subproduto, composto majoritariamente por sais de ferro ($\approx 60\%$) e chumbo (3 a 6%), denominado escória (LAURINDO et al., 2000; MARAÑON; SASTRE; COYA, 2000; PIETRELLI et al., 2002). Segundo

Lassin et al. (2006), a cada ano, os processos de reciclagem de chumbo produzem 200.000 toneladas de escória.

A presença de chumbo residual na escória, o qual pode ser lixiviado para o meio ambiente, impede seu descarte em aterros convencionais, uma vez que o mesmo é classificado como resíduo perigoso Classe I (ABNT 10004, 2004). Uma alternativa para um descarte mais apropriado seria a extração do chumbo presente na escória. Neste sentido, em um estudo pioneiro, nosso grupo de pesquisa demonstrou ser possível a extração do chumbo presente na escória mediante o emprego solução de EDTA como meio extrator (SMANIOTTO et al., 2009 e 2010). O processo de extração somente demonstrou-se eficiente após o emprego prévio do fluoreto como agente mascarante para o ferro. Outra variável que apresentou efeito foi pH e o tipo de ácido empregado. Com um pH de 1,5, empregando o ácido nítrico para sua correção, foi possível reduzir em cerca de 57% o teor de Pb^{2+} presente na escória.

No entanto, como resultado do processo de extração é gerado um efluente líquido

ácido, contendo elevados teores de ferro, chumbo e fluoreto, nas formas complexadas, o que impede seu descarte para o meio ambiente sem um tratamento prévio. Coerente com a literatura, a composição química do efluente sugere o emprego de processos físico-químicos, baseados na precipitação seletiva (VOGEL, 1981, HARRIS, 2005, DALLAGO et al., 2008), permitindo desta forma, além do tratamento, uma possível recuperação do chumbo, ferro e fluoreto presentes no efluente.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo complementar o estudo anterior, tendo como foco remoção do fluoreto, ferro e chumbo residual do efluente através das reações de precipitação seletiva.

Material e Métodos

Efluente

O efluente líquido empregado neste estudo corresponde ao lixiviado resultante do processo de extração de Pb presente em escória de recicladoras de baterias (SMANITTO et al., 2007). Foram avaliadas duas amostras, uma normal (do próprio efluente) e outra pré-concentrada, gerada mediante aquecimento do efluente, até atingir $\frac{1}{4}$ de seu volume original.

Os teores de ferro e chumbo presentes em ambas as amostras (normal e concentrada) foram determinados por espectroscopia de absorção atômica, em um aparelho Varian, modelo AA. O teor de fluoreto foi determinado por cromatografia de troca iônica com detecção condutimétrica (Metrohm, modelo 861) e o pH foi determinado instrumentalmente com um pHmetro da marca Denver Instrument, modelo UP25. A caracterização quanto ao teor de ferro, chumbo e fluoreto presente no efluente encontra-se apresentado na Tabela 1.

Tratamento da amostra

A metodologia proposta para o tratamento do lixiviado baseou-se em reações de precipitação seletiva (VOGEL, 1981, HARRIS, 2005).

Remoção de fluoreto

A remoção/recuperação dos íons fluoreto baseou-se na precipitação seletiva deste íon, na presença de um cátion, na forma de um sal.

Para isso, foi conduzido um estudo prévio empregando uma solução sintética de íons fluoreto (1 mol.L^{-1}). Há 1 mL desta amostra fez-se a adição de 1 mL de soluções sintéticas (1 mol.L^{-1}) de diferentes cátions (Al^{3+} , Ca^{2+} , Bi^{3+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} e Cu^{2+}). A escolha dos cátions baseou-se nos valores dos produtos de solubilidade de alguns fluoretos ($K_{ps} \text{MgF}_2 = 6,6 \times 10^{-9}$, $K_{ps} \text{CaF}_2 = 3,9 \times 10^{-11}$ e $K_{ps} \text{BaF}_2 = 1,7 \times 10^{-6}$, HARRIS, 2005), bem como da disponibilidade de sais destes cátions no laboratório. Como critério de seleção, para os ensaios com as amostras reais (normal e concentrada), foram considerados os cátions que conduziram a formação de um precipitado, o qual é passível de ser removido fisicamente do meio por centrifugação/filtração.

Os ensaios com as amostras normal e concentrada foram conduzidos empregando 2 mL de amostra, aos quais foram adicionados sequencialmente alíquotas de 1 mL das soluções dos cátions de interesse, na concentração 1 mol.L^{-1} , até não observar mais a formação de precipitado. Após cada nova alíquota adicionada à amostra era submetida a uma etapa de centrifugação para decantação do precipitado formado, facilitando a visualização de formação de precipitado na adição da alíquota subsequente. Ao final do processo, os precipitados foram removidos por filtração. O sobrenadante, após caracterizado quanto ao teor de íons fluoreto, foi fracionado em três

alíquotas contendo 3 mL cada, as quais foram submetidas a diferentes ensaios, visando à remoção subsequente do chumbo.

Para a precipitação seletiva do chumbo, foram testados os ânions sulfato (SO_4^{2-}), cloreto (Cl^-) e sulfeto (S^{2-}) (VOGEL, 1981 e HARRIS, 2005).

As soluções empregadas como precursoras dos ânions foram o sulfato de sódio, o cloreto férrico e sulfeto de sódio, todas na concentração 1 mol.L^{-1} .

Precipitação de F^- do lixiviado empregando íons Bi^{3+}

Para a precipitação de F^- do lixiviado empregando íons de Bi^{3+} , em 2 mL de efluente, foram adicionados alíquotas sequenciais de 1 mL da solução 1 mol.L^{-1} de bismuto, até não observar mais formação de precipitado. Entre cada adição a solução foi submetida a uma etapa de centrifugação para decantar o precipitado gerado na etapa anterior, facilitando assim, a visualização da formação de um novo precipitado em solução. Após uma etapa de filtração, o líquido resultante desta etapa foi fracionado e analisado quanto ao teor de fluoreto.

Avaliação de diferentes agentes precipitantes visando à precipitação do chumbo Pb^{2+} presente efluente após a etapa de remoção dos íons fluoreto

Como agente de precipitação para a remoção do Pb^{2+} , presente no efluente tratado em relação aos íons fluoreto, foram avaliados os íons SO_4^{2-} , S^{2-} , Cl^- . Como precursores destes ânions foram empregados os sais Na_2SO_4 , Na_2S e FeCl_3 , respectivamente. Após a etapa de precipitação, os sobrenadantes resultantes dos ensaios conduzidos com sulfeto e cloreto foram analisados por absorção atômica em relação ao teor de chumbo.

Remoção de chumbo do efluente contendo íons fluoreto

Para os ensaios de recuperação do Pb^{2+} , sem a remoção prévia dos íons fluoreto, a amostra foi tratada previamente com íons Fe^{3+} , o qual apresenta uma constante de formação com o EDTA superior ao Pb^{2+} ($K_{\text{Fe-EDTA}} = 1,3 \times 10^{25}$, $K_{\text{Pb-EDTA}} = 1,09 \times 10^{18}$, HARRIS, 2005), permitindo assim, o deslocamento do Pb^{2+} de seu complexo com o EDTA, e conseqüentemente, sua recuperação como um precipitado mediante uma reação com um ânion apropriado.

Para este ensaio foram empregadas diferentes soluções precursoras de Fe^{3+} (cloreto férrico, sulfato férrico e nitrato férrico), contendo 20 mg L^{-1} de íons Fe^{3+} . Os ensaios foram conduzidos empregando 1 mL de amostra a 80°C . Foram avaliados diferentes volumes (0,5, 1,0, 1,5 e 3,0 mL) das soluções precursoras de ferro.

Resultados e discussão

Efluente

A composição química, em relação aos teores de ferro, chumbo e fluoreto, bem como o pH dos efluentes oriundos da etapa de extração de Pb^{2+} presente em escória de recicladoras de baterias encontra-se apresentada na Tabela I.

Para ambas as amostras estudadas, os valores encontrados para o Fe^{3+} , Pb^{2+} e pH estão acima dos padrões estabelecidos pela legislação ambiental vigente (CONAMA, 2011), inviabilizando seu descarte, na forma como esta, em corpos receptores. Os resultados encontrados demonstram a necessidade de uma etapa de tratamento, visando à remoção destes componentes a níveis compatíveis com a legislação.

Tabela I - Teores de chumbo, ferro e fluoreto no efluente líquido normal e concentrado oriundo do processo de extração de chumbo de escórias de recicladoras de baterias.

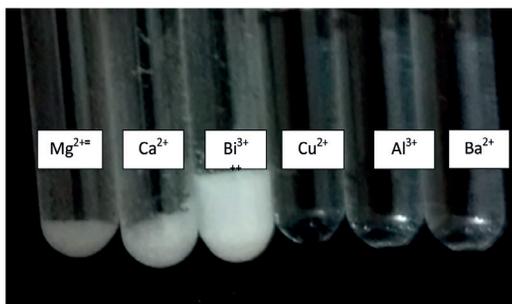
Amostra	Pb ²⁺ (mg.L ⁻¹)	Fe ³⁺ (mg.L ⁻¹)	F ⁻ (mg.L ⁻¹)	pH
Efluente normal	40	770	1.692	3
Efluente Concentrado*	135	6.900	3.502	3
CONAMA	0,5	15	10	5-9

* Efluente pré-concentrado 4 vezes

Remoção de fluoreto

Dos cátions testados (Al³⁺, Ca²⁺, Bi³⁺, Mg²⁺, Ba²⁺ e Cu²⁺) para os ensaios preliminares com a amostra sintética de íons fluoreto, somente três (Mg²⁺, Ca²⁺ e Bi³⁺) apresentaram resultados positivos, ou seja, apresentaram formação de um precipitado (Figura 1) quando reagiram com a solução sintética de íons fluoreto, sendo estes os escolhidos para serem testados frente aos efluentes reais.

Figura 1- Soluções após as reações do ânion fluoreto com diferentes cátions



Para as amostras reais, somente os íons cálcio e o bismuto apresentaram resultados positivos, ou seja, conduziram a formação de um precipitado branco, similar ao observado no ensaio com a solução de referência. Destes, os resultados mais significativos, considerando a massa de precipitado decantada no fundo do tubo de ensaio, foram os observados para o bismuto.

A tendência observada, principalmente entre o cálcio (apresentou formação de precipitado) e o magnésio (não apresentou formação de precipitado), foi vinculada as diferenças entre seus produtos de solubilidade (Kps) (Tabela II).

Tabela II - Produtos de solubilidade (Kps) para os sais MgF₂ e CaF₂

Propriedade	Sais		
	MgF ₂	CaF ₂	BiF ₃
Kps	6,6 x 10 ⁻⁹	3,9 x 10 ⁻¹¹	*

Fonte: Harris, 2005

*Valor não encontrado na literatura

O menor produto de solubilidade (Kps) apresentado pelo fluoreto de cálcio, em relação ao fluoreto de magnésio, indica que ele é menos solúvel, ou seja, conduz a formação de precipitado na presença de menores concentrações de fluoreto.

Para o fluoreto de bismuto não foram encontrados dados na literatura referente ao seu produto de solubilidade (Kps). No entanto, considerando os resultados observados neste estudo, os quais demonstram uma maior precipitação de fluoreto quando do emprego do bismuto como agente precipitante, pode-se concluir que este sal apresenta um produto de solubilidade (Kps) e uma solubilidade inferior a dos fluoretos de cálcio (CaF₂) e de magnésio (MgF₂). Neste contexto, os demais estudos foram conduzidos empregando como agente de precipitação para os íons fluoreto o íon bismuto.

Precipitação de F⁻ do lixiviado empregando íons Bi³⁺

A completa precipitação do fluoreto de bismuto se deu após a adição de 7 mL de solução padrão contendo íons Bi³⁺ (não se observando mais a formação do precipitado), sugerindo que todo o fluoreto presente

no efluente, passível de remoção por precipitação, foi precipitado na forma de BiF_3 . A Tabela III apresenta a análise do teor de fluoreto para o líquido resultante desta etapa de precipitação.

Tabela III - Análise de troca iônica da solução resultante da etapa de remoção fluoreto mediante precipitação com íons bismuto

Parâmetro	Efluente Normal		Efluente Concentrado	
	bruto	tratado	bruto	Tratado
F ⁻ (mg.L ⁻¹)	1.694	649	3.502	1.055

Independente da amostra testada (normal ou pré-concentrada) observa-se uma remoção de fluoreto, mediante precipitação com íons Bismuto, de $\approx 66\%$. Para ambas as amostras observa-se ainda a presença de elevada concentração de fluoreto no efluente, indicando que o processo apresenta certas limitações.

Após a precipitação do fluoreto, a solução foi filtrada e o sobrenadante dividido em três alíquotas, as quais foram submetidas a diferentes condições experimentais visando à remoção do chumbo, mediante precipitação seletiva com íons sulfato, sulfeto e cloreto. Os três agentes precipitantes testados para o chumbo, após a etapa de remoção dos íons fluoreto com bismuto, conduziram a formação de precipitado.

Precipitação do Pb^{2+} do lixiviado empregando íons SO_4^{2-} , S^{2-} e Cl^-

As alíquotas tratadas com Na_2SO_4 , Na_2S e FeCl_3 conduziram a formação de precipitados, com colorações branca, preta e branca, características dos sais $\text{Pb}(\text{SO}_4)_2$, PbS_2 e PbCl_2 respectivamente. Os precipitados formados foram vinculados ao sulfato de chumbo, sulfeto de chumbo e cloreto de chumbo (VOGEL, 1981), oriundo das reações do íon Pb^{2+} , deslocado de seu complexo com

o EDTA pelo bismuto, com os íons sulfato, sulfeto e o cloreto.

A Tabela IV apresenta os resultados das análises de absorção atômica em relação ao teor de chumbo nas amostras do sobrenadante do precipitado.

Tabela IV - Quantificação de chumbo presente em solução para os ensaios de precipitação de fluoreto

Amostra	Teor de Pb mg L ⁻¹
Efluente normal	40,0
Efluente Concentrado	135,0
Normal tratada com Na_2S	1,7
Concentrada tratada com Na_2S	1,7
Normal tratada com FeCl_3	4,7
Concentrada tratada com FeCl_3	4,9

O teor de chumbo encontrado nos efluentes tratados (considerando as diluições oriundas na adição de reativos) sugere que os precipitados formados anteriormente estão vinculados ao chumbo e não ao bismuto. As maiores remoções observadas quando do emprego do Na_2S foram vinculadas ao menor produto de solubilidade do PbS_2 ($K_{ps} = 4 \times 10^{-28}$) em relação ao PbCl_2 ($K_{ps} = 1,2 \times 10^{-5}$) (HARRIS, 2005).

Apesar da redução significativa do teor de chumbo presente, o resíduo ainda não apresenta características adequadas em relação ao Pb^{2+} (CONAMA, 2011) para ser descartado em corpos receptores.

Remoção de chumbo sem a remoção previa dos íons fluoreto

Este experimento foi conduzindo visando à remoção direta do chumbo sem uma etapa prévia destinada à remoção dos íons fluoreto. O íon Fe^{3+} foi escolhido pelo fato dele apresentar uma constante de formação com o EDTA maior que o chumbo. Neste contexto, os íons Fe^{3+} tendem a deslocar os íons Pb^{2+} para o meio reacional, possibilitando sua

remoção posterior ou concomitantemente, por precipitação. Para este ensaio, foram utilizados diferentes precursores de íons Fe^{3+} , considerando preferencialmente precursores contendo os ânions que apresentaram resultados positivos para a precipitação do chumbo (cloreto férrico, sulfato férrico e nitrato férrico). Para auxiliar na reação de deslocamento, os ensaios foram conduzidos a $80\text{ }^\circ\text{C}$.

Dos três precursores de Fe^{3+} empregados neste estudo, somente o sulfato e o cloreto conduziram a formação de precipitados, os quais estão vinculados aos sais PbSO_4 e PbCl_2 , respectivamente. Para o nitrato férrico não foi observada formação de precipitado.

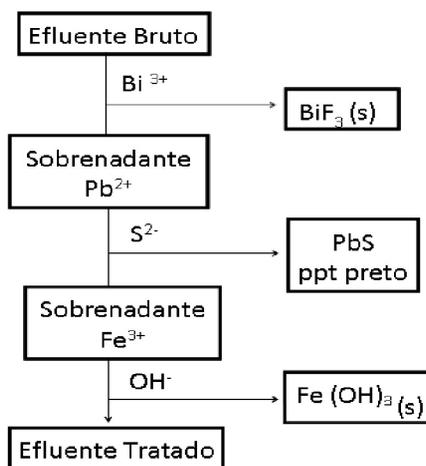
Estes resultados indicam que o Fe^{3+} foi eficiente na etapa de deslocamento do Pb^{2+} de seu complexo com o EDTA, permitindo sua precipitação na forma de cloreto de chumbo e sulfato de chumbo. A elevada solubilidade em água do nitrato de chumbo ($S_{\text{Pb}(\text{NO}_3)_2} = 52\text{ g}/100\text{ mL}$, a $20\text{ }^\circ\text{C}$, (HARRIS, 2005)), justificaria a inexistência de precipitado quando do emprego do nitrato férrico como precursor de Fe^{3+} .

A remoção dos íons ferro presente no efluente foi obtida pelo aumentando o pH, mediante a adição de NaOH $1,0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$, a pHs alcalinos (entre 8 e 9). Nestas condições, o ferro precipita como hidróxido de ferro, permitindo assim, sua separação do meio reacional por filtração, além de corrigir o pH do efluente tratado.

Após esta etapa o efluente tratado apresentou parâmetros para o pH ($\text{pH} = 8,5$) e o ferro ($5,0\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) condizentes com a legislação vigente (CONAMA, 2011).

O fluxograma considerando as etapas do processo, bem como os reagentes empregados no tratamento, que apresentaram os melhores resultados para a remoção sequencial do fluoreto, chumbo e ferro, é apresentado na Figura 2.

Figura 2 - Fluxograma de tratamento considerando os reagentes que proporcionaram os melhores resultados de tratamento.



Remoções seletivas de metais pesados em efluentes empregando reagentes que conduzam a precipitação seletiva dos mesmos, com resultados promissores, são destacadas na literatura. Dallago et al. (2008) descreveram uma metodologia que permitiu a remoção seletiva de prata, mercúrio e cromo+ferro presentes em efluente de DQO, o qual após as etapas de tratamento apresentou para os metais avaliados parâmetros condizentes com a legislação vigente. Bendassolli et al. (2003) conseguiram boas recuperações de prata presente em resíduos gerados nas análises de DQO e de sulfeto volátil ácido (SVA) em sedimentos, empregando como agente precipitante seletivo íons cloreto. No entanto, os autores desconsideraram a presença do mercúrio e sua interferência no processo de precipitação seletiva da prata com íons cloreto, uma vez que o mesmo precipita concomitantemente com a prata.

Considerações finais

O íon bismuto mostrou-se mais eficiente que o cálcio e o magnésio para a remoção dos

íons fluoreto, conduzindo a uma redução de aproximadamente 66% do efluente presente no efluente. Esta tendência observada entre os três cátions indica que o fluoreto de bismuto apresenta um produto de solubilidade (Kps) menor que a dos fluoretos de cálcio e de magnésio.

Para o ensaio conduzido sem a remoção prévia dos íons fluoretos, a formação de precipitado, quando do emprego de sulfato e cloreto férrico sugere que os íons férricos estão deslocando o Pb^{2+} de seu complexo com o EDTA, permitindo sua precipitação na forma de sulfato de chumbo e cloreto de chumbo, respectivamente.

No contexto geral, os resultados demonstram que, através de procedimentos simples, mediante reações de precipitação com reagentes adequados, é possível conduzir a remoção seletiva dos íons metálicos presentes no efluente, sendo que em alguns deles há níveis aceitáveis pela legislação vigente. Além disto, os resultados demonstraram que o processo pode ser empregado como uma etapa primária, destinada à remoção da maior carga poluidora, previamente a uma etapa de polimento final, a qual pode ser conduzida com trocadores iônicos ou membranas.

REFERÊNCIAS

ABNT 10.004, Resíduos Sólidos – Classificação, 2004.

BENDASSOLLI, J. A.; TAVARES, G. A.; IGNOTO, R. F.; ROSSETI, A. L. R. M. Procedimentos para recuperação de Ag de resíduos líquidos e sólidos. **Química Nova**, v.26, n.4, p. 578-581, 2003.

CONAMA Resolução Nº 430/2011 - “Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes”. Disponível em <<http://www.mma.gov.br/port/conama>>. Acesso em: 14 jun. 2014.

DALLAGO, R. M.; Di LUCCIO, M.; GOLUNSKI, S., BATISTELLA, L. Extração e recuperação de prata e mercúrio em efluentes gerados na determinação de DQO empregando métodos físico-químicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 13, p. 121, 2008.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa**. Rio de Janeiro: LTC, 2005.

LASSIN, A., PATRICE, P., BURNOL, A., BONDÉNAN, F., CHATEAU, L., LEROUGE, C., CROUZET, C., GUYONNET, D. E BAILLY, L. Reactivity of waste generated during lead recycling: an integrated study. **Journal of Hazardous Materials**, v.139, p. 430-437, 2007..

LAURINDO, E. A., BOCCHI, N. e ROCHA & FILHO, R. C. Production and Characterization of Ti/PbO₂ Electrodes by a Thermal-Electrochemical Method. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v.11, n. 4, p.429-433, 2000.

MARÑÓN, E., SASTRE, H., COYA, B. Ecotoxicity assessment of slag generated in the process of recycling lead from waste batteries. **Resources Conservation and Recycling**, v.29, p. 291-306, 2000.

PIETRELLI, L., MONTEREALI, M. R., MEDICI, F, DE ANGELIS, G. Reuse of residues arising from lead batteries recycle: a feasibility study. **Waste Management**, v. 22, p. 925-931, 2002.

SMANIOTTO, A., ANTUNES, A., VENQUIARUTO, L. D., DE OLIVEIRA, D., MOSSI, A., DI LUCCIO, M., e DALLAGO, R. Qualitative lead extraction from recycled lead-acid batteries slag. **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, n. 2, p. 1677-1680, 2009.

SMANIOTTO, A., ANTUNES, A., FILHO, I. D. N., VENQUIARUTO, L. D., DE OLIVEIRA, D., MOSSI, A., e DALLAGO, R. Optimization of the methodology for lead extraction from waste contaminated with heavy metals. **Environmental Technology**, v. 31, n. 4, p.365-37, 2010.

VOGEL, A., I. **Química Analítica Qualitativa**. São Paulo: Ed. Mestre Jou, 1981.

